

## PIROLISIS POLISTIREN SECARA BATCH

Wahyu Hasokowati<sup>1)</sup>  
dan Rochmadi<sup>2)</sup>

### ABSTRACT

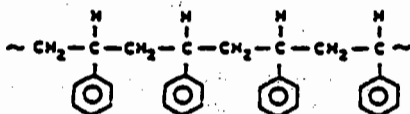
*Polystyrene is applied in human life, now, especially for packaging. Used polystyrene becomes a problem to the environments, since it is not biodegradable. Pyrolysis (i.e. thermal degradation) is one of several methods in the processing of plastic wastes. The aim of this research is to investigate the characteristics of pyrolysis of polystyrene materials. The experiment was carried out in a batch process.*

*Pyrolysis process was conducted in a cylindrical retort provided with an electrical heater, water cooler, and liquid product collector. About 30 g of polystyrene material was pyrolyzed per batch. Three kinds of polystyrene were chosen: solid, granular, and foam. The pyrolysis temperature was varied between 380° to 580°C. The liquid product was collected in certain time interval and weighed. The experiment was halted when no more liquid was produced. The composition of liquid product was determined by gas chromatography.*

*Pyrolysis of polystyrene produced toluene, ethyl benzen, styrene, and isopropyl benzen in liquid product; and solid residue. Styrene was the largest product in the liquid, with styrene recovery 40.9% to 82.8%.*

### 1. PENGANTAR

Polistiren banyak dipergunakan dalam kehidupan sehari-hari. Pada umumnya polistiren yang sudah tidak dipakai lagi dibuang sebagai limbah. Salah satu cara penanganan limbah bahan polimer adalah dengan proses pirolisis. Pada proses tersebut polistiren yang mempunyai rumus bangun seperti pada gambar 1 terdegradasi menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana.



Gambar 1. Bangun polistiren

Tujuan penelitian ini adalah mempelajari sifat-sifat/karakter dari pirolisis plastik polistiren. Sebagai langkah awal, yang diamati dalam penelitian ini adalah jumlah cairan hasil pirolisis pada berbagai suhu pirolisis, dari 380° sampai dengan 580° C. Analisis jenis-jenis senyawa kimia di dalam hasil pirolisis juga dilakukan. Tanpa pertimbangan khusus, yang di pirolisis pada penelitian ini adalah polistiren padatan, butiran, dan gabus. Wardani (1995) melakukan penelitian dengan bahan yang sama pada suhu 480° sampai dengan 580° C tanpa menyebutkan jumlah padatan yang diproses.

Perengkahan polimer dapat diakibatkan oleh berbagai faktor, antara lain oleh energi panas. Dengan pemanasan, polimer dapat terdepolimerisasi menjadi monomer-monomernya. Reaksi yang terjadi adalah:

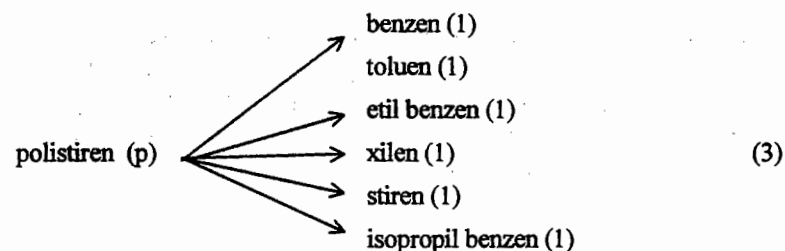
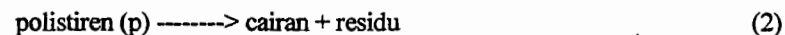


Untuk tiap 100 bagian polistiren yang di pirolisis, diperoleh hasil monomer stiren sekitar 42 bagian (Billmeyer, 1984).

Analisis dengan khromatografi gas terhadap hasil pirolisis tempat makanan yang terbuat dari polistiren, dalam sampel terdapat senyawa benzen, toluen, etilbenzen, p-xilen, m-xilen, o-xilen, stiren, isopropil benzen (Sullivan, 1977).

### 1.1. Landasan Teori

Selama proses pirolisis, polistiren padat mengalami perubahan wujud dan terurai menjadi cairan dan residu. Cairan hasil mengandung senyawa benzen, toluen, etilbenzen, xilen, stiren isopropilbenzen, dan sedikit zat pengotor (*impurities*), tetapi tidak ada hasil dalam fase gas. Reaksi-reaksi tersebut dapat ditulis sebagai berikut:



Nilai konstanta kecepatan reaksi dan suhu mutlak mengikuti hubungan eksponensial, yang dapat dituliskan sebagai berikut:

$$k = A e^{-E/RT} \quad (4)$$

A = faktor tumbukan, menit<sup>-1</sup>

E = energi aktivasi, kal/gmol

R = tetapan gas ideal = 1,987 kal/gmol K

Kecepatan peruraian senyawa dalam proses pirolisis atau degradasi termal mengikuti order 1. Kecepatan reaksi yang ditinjau merupakan kecepatan berkurangnya massa polistiren yang dapat di depolimerisasi. Penjabaran persamaan kecepatan reaksi adalah sebagai berikut:

$$-\frac{dM}{dt} = kM$$

$$-M \frac{d(1-x_c)}{dt} = M k_c (1-x_c)$$

$$\int_0^{x_c} \frac{dx_c}{(1-x_c)} = \int_0^t k_c t$$

$$-\ln(1-x_c) = k_c t \quad (5)$$

Analog dengan persamaan di atas:

$$-\ln(1-x_b) = k_b t \quad (6)$$

$$-\ln(1-x_t) = k_t t \quad (7)$$

$$-\ln(1-x_e) = k_e t \quad (8)$$

$$-\ln(1-x_x) = k_x t \quad (9)$$

$$-\ln(1-x_s) = k_s t \quad (10)$$

$$-\ln(1-x_i) = k_i t \quad (11)$$

dengan:

M = fraksi berat polistiren terhadap polistiren mula-mula

t = waktu, menit

$x_c, x_b, x_t, x_e, x_x, \text{ dan } x_i$  = fraksi berat terhadap polistiren mula-mula, berturut-turut untuk cairan, benzen, toluen, etil benzen, stiren, dan isopropil benzen

$k_c, k_b, k_t, k_e, k_x, \text{ dan } k_i$  = konstante kecepatan reaksi, menit<sup>-1</sup>, berturut-turut untuk cairan, benzen, toluen, etil benzen, stiren, dan isopropil benzen

## 2. CARA PENELITIAN

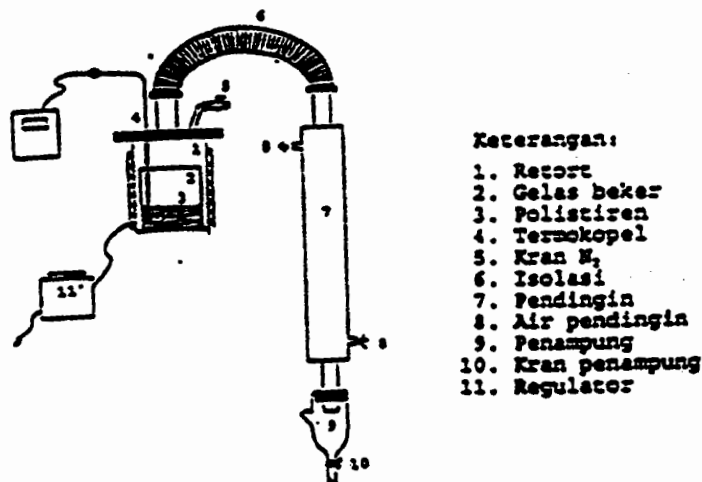
### 2.1. Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang dipakai dalam penelitian ini adalah:

1. Polistiren padat, yang merupakan hasil polimerisasi stiren, berupa padatan tidak berwarna, kenyal, dan dapat dipotong-potong.
2. Polistiren butir, berupa butiran sebesar beras tidak berwarna.
3. Polistiren gabus, berupa padatan yang sangat ringan berwarna putih.
4. Hydroquinone, berupa padatan berwarna ungu keabu-abuan
5. Gas  $N_2$ .

### 2.2. Alat Penelitian

Alat yang digunakan terdiri atas retort (silinder yang dapat ditutup rapat) yang dilengkapi dengan pemanas listrik dan pendingin air. Bagian luar retort dililit dengan kawat pemanas listrik yang diisolasi dengan asbes. Rangkaian alat pirolisis tersebut dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian alat pirolisis polistiren

### 2.2. Jalan penelitian

#### 2.2.1. Pembuatan larutan hydroquinone 1%

Larutan hydroquinone digunakan untuk mencegah terjadinya polimerisasi stiren yang terdapat dalam hasil pirolisis. Hydroquinone padat ditimbang dengan berat yang tertentu dengan volum tertentu pula sehingga diperoleh

### 2.2.2. Proses pirolisis

Polistiren kira-kira seberat 30 gram dimasukkan ke dalam gelas beker di dalam retort, kemudian retort ditutup rapat. Selanjutnya kran  $N_2$  dan kran penampung dibuka. Kedua kran tersebut ditutup lagi setelah  $N_2$  mencapai pipa pengeluaran penampung. Pemanas dihidupkan dan air pendingin dialirkan. Dengan bantuan regulator suhu retort dinaikkan sehingga tercapai suhu yang diinginkan, kemudian suhu dipertahankan tetap.

Pada saat suhu yang diinginkan tercapai, ditetapkan sebagai waktu  $t=0$ . Sampel yang pertama kali diambil merupakan hasil akumulasi cairan pada suhu di bawah suhu yang diinginkan. Pengambilan sampel selanjutnya dilakukan pada interval waktu tertentu. Cairan ditimbang lalu ditambah 1-2 tetes larutan hydroquinone 1%. Pirolisis dihentikan jika sudah tidak ada lagi cairan yang keluar atau terembunkan. Selanjutnya sampel dianalisis dengan khromatografi gas dan spektrofotometer infra merah di Laboratorium Analisa Kimia dan Fisika Pusat, UGM.

### 2.3. Analisis Hasil

#### 2.3.1. Analisis kualitatif dengan spektrofotometer inframerah.

Analisis ini dilakukan terhadap residu, dengan tujuan untuk mengidentifikasi senyawa-senyawa yang terkandung.

#### 2.3.2. Analisis kuantitatif dengan khromatografi gas

Analisis ini dilakukan terhadap sampel cairan yang diperoleh dan senyawa standar, yaitu benzen, toluen, stiren, dan larutan *hydroquinone*.

Data yang diperoleh dari analisis dengan khromatografi gas berupa prosentase mol tiap senyawa di dalam sampel. Dari data tersebut dihitung berat senyawa dalam sampel. Fraksi berat senyawa merupakan rasio berat senyawa dalam sampel cairan dan polistiren mula-mula. Selanjutnya harga tetapan kecepatan reaksi dihitung dengan persamaan (6) sampai dengan (11). Harga faktor tumbukan dan energi aktivasi setiap senyawa dihitung dengan persamaan (4) dengan regresi linier.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini masih merupakan studi awal dari proses pirolisis plastik polistiren. Proses pirolisisnya dilakukan secara *batch*. Agra (1985) telah melakukan penelitian pirolisis sampah plastik, baik secara *batch* maupun sinambung. Bahan yang di pirolisis umumnya mengandung polietilen. Secara umum, hasil pirolisis berupa gas, cairan, dan padatan. Hasil pengamatan selama percobaan proses pirolisis plastik polistiren menunjukkan bahwa polistiren yang mula-mula berujud padat meleleh di dalam retort. Pada suhu tinggi sebagian cairan menguap, kemudian mengembun kembali menjadi cairan yang berwarna kekuning-kuningan setelah didinginkan. Oleh karena itu bisa dianggap tidak ada hasil pirolisis polistiren yang berupa gas. Sisa cairan yang tidak bisa menguap berubah menjadi residu berupa cairan kental berwarna coklat kehitam-hitaman

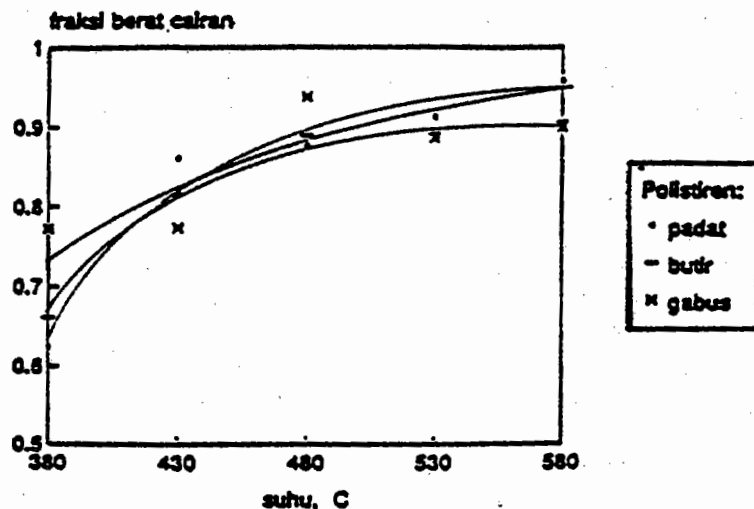
dan hampir padat pada saat reaktor mendingin. Hasil analisis dengan spektrofotometer inframerah menunjukkan bahwa residu ini memiliki grafik yang bentuknya mirip dengan grafik polistiren. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa residu masih mengandung polistiren dengan berat molekul yang lebih rendah dari pada berat molekul mula-mula. Semakin tinggi suhu pirolisis, warna cairan yang terembunkan menjadi semakin kecoklatan. Hal ini dapat terjadi karena pada suhu yang makin tinggi, fraksi senyawa yang lebih berat ikut teruapkan bersama-sama dengan fraksi ringannya.

Pada awal proses pemanasan, suhu retort dan isinya sama dengan suhu lingkungan. Untuk mencapai suhu 380°C atau lebih memerlukan waktu yang cukup lama (proses *transient*). Secara teoritis, yang diinginkan pada saat awal proses pirolisis, yaitu pada  $t=0$ , retort dan isinya sudah bersuhu seperti suhu yang diinginkan, misalnya 380°C. Pada kenyataannya, hal ini sulit dipenuhi, sehingga penentuan waktu  $t=0$  juga sulit dilakukan. Oleh karena itu penentuan waktu  $t=0$  diambil pada saat suhu pirolisis mencapai suhu yang diinginkan. Tetapi akibatnya pada saat suhu pirolisis baru saja tercapai, hasil cairan sudah ada yang tertampung, bahkan pada suhu yang tinggi jumlah cairan yang tertampung tersebut sudah cukup banyak.

Analisis dengan khromatografi gas memberikan hasil berupa data prosentase mol tiap senyawa di dalam sampel. Dua buah senyawa berhasil diidentifikasi, yaitu stiren dan toluen, sedangkan etil benzen dan isopropil benzen hanya merupakan perkiraan saja, berdasarkan waktu tinggalnya. Beberapa senyawa lain juga terdapat dalam cairan hasil pirolisis, tetapi diabaikan karena jumlahnya kurang dari 1%.

### 3.1. Pengaruh Suhu Pirolisis pada Fraksi Berat Cairan yang Terembunkan

Pengaruh suhu pirolisis pada fraksi berat cairan yang terembunkan terhadap polistiren mula-mula disajikan pada gambar 3 dan daftar I.



Semakin tinggi suhu pirolisis, hasil cairan yang terembunkan semakin banyak. Pada pirolisis terjadi pemutusan rantai polistiren. Pemutusan rantai yang terjadi secara acak mengakibatkan terbentuknya bermacam-macam senyawa. Pada suhu yang lebih tinggi, terjadinya pemutusan rantai polistiren semakin banyak, menghasilkan senyawa-senyawa dengan rantai yang lebih pendek dibandingkan hasil pemutusan rantai pada suhu yang lebih rendah. Senyawa-senyawa tersebut menguap dan mengembun kembali setelah didinginkan. Pada suhu yang lebih tinggi senyawa yang rantainya lebih panjang ikut teruapkan. Oleh karena itu, fraksi berat cairan meningkat dengan semakin tingginya suhu pirolisis. Hal ini sesuai dengan hasil yang diperoleh Wardani (1995).

Daftar I. Pengaruh suhu terhadap hasil cairan terembunkan

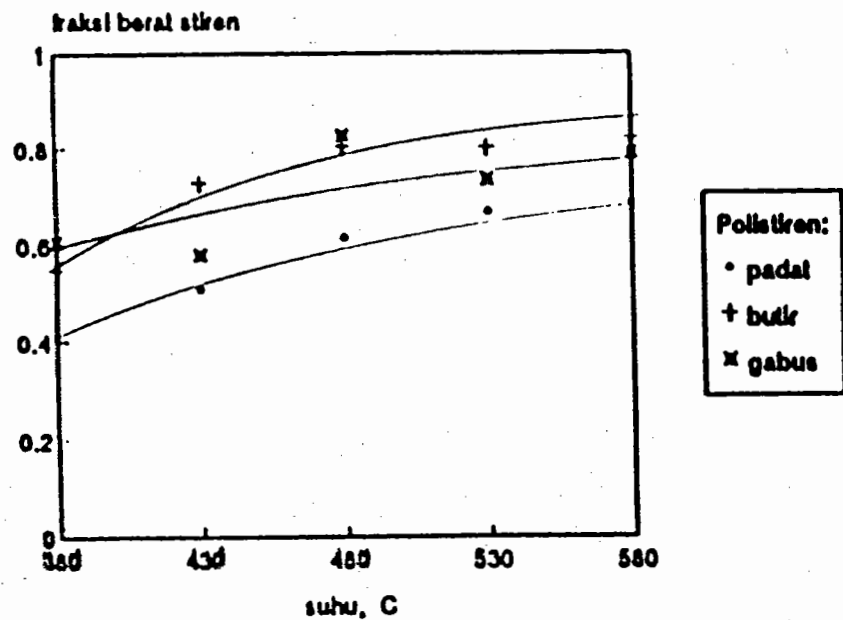
jenis polistiren	fraksi berat cairan terembunkan terhadap polistiren mula-mula				
	380°C	430°C	480°C	530°C	580°C
padat	0,6245	0,8614	0,8775	0,9130	0,9582
butir	0,6610	0,8154	0,8902	0,8926	0,9074
gabus	0,7723	0,7733	0,9383	0,8867	0,9006

### 3.2. Pengaruh Suhu Pirolisis pada Fraksi Berat Senyawa Hasil

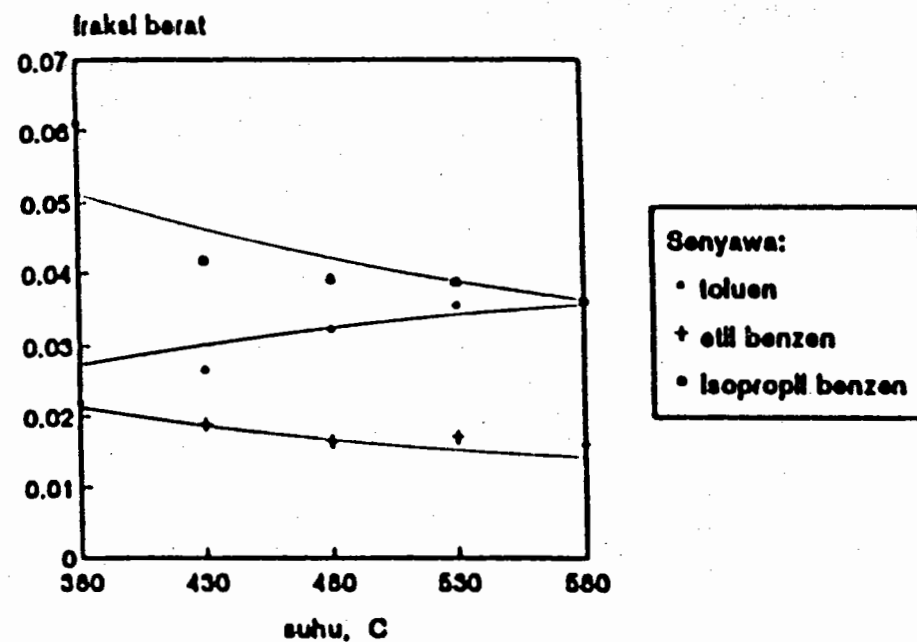
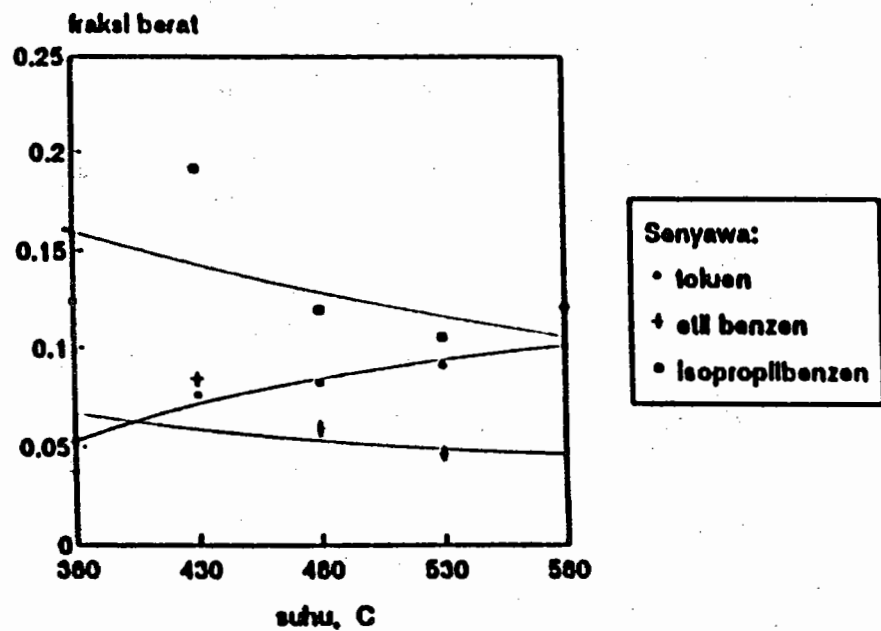
Pengaruh suhu pirolisis pada fraksi berat senyawa hasil pirolisis terhadap polistiren mula-mula, disajikan pada gambar 4, 5, 6, dan 7 serta daftar II, III, dan IV.

Hasil pirolisis polistiren yang diinginkan adalah stiren, karena stiren merupakan monomer dari polistiren. Stiren tersebut diharapkan dapat dimanfaatkan kembali, setelah mengalami beberapa langkah pemurnian. Stiren recovery umumnya bertambah dengan meningkatnya suhu pirolisis. Pada pemutusan rantai, yang lebih banyak terjadi adalah stiren, karena stiren lebih stabil dibandingkan senyawa lain. Dengan semakin tingginya suhu pirolisis, rantai yang terputus juga semakin banyak, sehingga perolehan stiren akan meningkat. Toluene mempunyai kecenderungan yang sama dengan stiren. Umumnya semakin tinggi suhu, semakin tinggi pula fraksi berat toluen dalam hasil pirolisis. Kecenderungan di atas sesuai dengan hasil yang diperoleh Wardani (1995) untuk polistiren padat, tetapi hasil yang diperoleh Wardani lebih kecil.

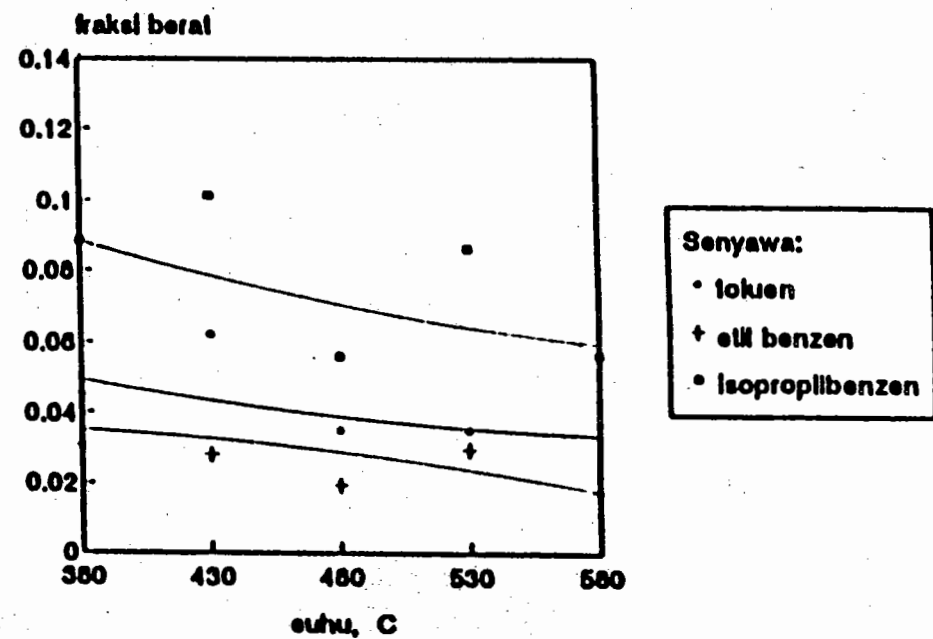
Bertentangan dengan yang diperoleh Wardani (1995), fraksi berat etil benzen dan isopropil benzen terhadap polistiren mula-mula menurun dengan kenaikan suhu. Molekul etil benzen dan isopropil benzen lebih besar dari pada stiren maupun toluen. Oleh karena itu pada suhu yang lebih tinggi kecenderungan terputusnya rantai polimer menjadi etil benzen maupun isopropil benzen menurun.



Gambar 4. Hubungan fraksi berat stiren dengan suhu



Gambar 6. Hubungan fraksi berat dengan suhu pada hasil pirolisis polistiren butir



### 3.3. Evaluasi Kecepatan Reaksi Pirolisis

Kecepatan reaksi suatu senyawa yang ditinjau merupakan kecepatan terbentuknya senyawa, dinyatakan sebagai fraksi berat senyawa terhadap polistiren mula-mula. Nilai tetapan kecepatan reaksi,  $k$ , untuk setiap senyawa dapat dihitung dengan mencari angka arah persamaan (6) sampai dengan (11), dan hasilnya dapat dilihat pada daftar V, VI, dan VII.

Daftar II. Pengaruh suhu terhadap hasil pirolisis polistiren padat

Hasil	Fraksi berat terhadap polistiren mula-mula				
	380°C	430°C	480°C	530°C	580°C
toluen	0,0535	0,0759	0,0822	0,0911	0,1015
etilbenzen	0,0374	0,0844	0,0590	0,0467	0,0480
stiren	0,4094	0,5091	0,6168	0,6693	0,6876
isopropilbenzen	0,1242	0,1920	0,1197	0,1060	0,1212

Daftar III. Pengaruh suhu terhadap hasil pirolisis polistiren butir fraksi berat terhadap polistiren mula-mula

Hasil	Fraksi berat terhadap polistiren mula-mula				
	380°C	430°C	480°C	530°C	580°C
toluen	0,0289	0,0267	0,0324	0,0356	0,0363
etilbenzen	0,0221	0,0190	0,0166	0,0172	0,0161
stiren	0,5488	0,7279	0,8021	0,8011	0,8188
isopropilbenzen	0,0612	0,0418	0,0392	0,0388	0,0362

Daftar IV. Pengaruh suhu terhadap hasil pirolisis polistiren gabus

Hasil	Fraksi berat terhadap polistiren mula-mula				
	380°C	430°C	480°C	530°C	580°C
toluen	0,0453	0,0623	0,0352	0,0352	0,0370
etilbenzen	0,0309	0,0282	0,0194	0,0297	0,0176
stiren	0,6075	0,5815	0,8275	0,7354	0,7893
isopropilbenzen	0,0885	0,1014	0,0562	0,0864	0,0567

Daftar V. Pengaruh suhu terhadap nilai tetapan kecepatan reaksi pada polistiren padat

Bahan	Tetapan kecepatan reaksi, $k$ , menit <sup>-1</sup>				
	380°C	430°C	480°C	530°C	580°C
cairan	0,0222	0,1146	0,0497	0,1050	0,1247
toluen	0,0014	0,0045	0,0010	0,0009	0,0016
etil benzen	0,0008	0,0044	0,0006	0,0004	0,0008
stiren	0,0121	0,0387	0,0141	0,0125	0,0242
isopropil benzen	0,0033	0,0126	0,0019	0,0012	0,0022

Daftar VI. Pengaruh suhu terhadap nilai tetapan kecepatan reaksi pada polistiren butir

Bahan	Tetapan kecepatan reaksi, $k$ , menit <sup>-1</sup>				
	380°C	430°C	480°C	530°C	580°C
cairan	0,0328	0,1337	0,1201	0,0373	0,01610
toluen	0,0009	0,0018	0,0013	0,0004	0,00003
etil benzen	0,0005	0,0008	0,0005	0,0001	0,00001
stiren	0,0364	0,0528	0,0741	0,0199	0,00195
isopropil benzen	0,0169	0,0286	0,0015	0,0003	0,00003

Daftar VII. Pengaruh suhu terhadap nilai tetapan kecepatan reaksi pada polistiren gabus

Bahan	Tetapan kecepatan reaksi, $k$ , menit <sup>-1</sup>				
	380°C	430°C	480°C	530°C	580°C
cairan	0,0509	0,0784	0,0603	0,0250	0,0228
toluen	0,0017	0,0035	0,0004	0,0003	0,0002
etil benzen	0,0009	0,0015	0,0002	0,0001	0,0001
stiren	0,0317	0,0422	0,0244	0,0102	0,0101
isopropil benzen	0,0025	0,0061	0,0005	0,0003	0,0002

Nilai faktor tumbukan,  $A$ , dan energi aktivasi,  $E$ , dapat dihitung dari persamaan (4). Dengan membuat hubungan antara  $-\ln k$  dan  $1/T$ , maka akan diperoleh  $E/R$  sebagai angka arah dan  $-\ln A$  sebagai intercept. Hasil yang diperoleh bisa dilihat pada daftar VIII.

Daftar VIII. Nilai faktor frekuensi, A, dan energi aktivasi, E, pada pirolisis polistiren (A dalam menit<sup>-1</sup>, E dalam kal/gmol)

bahan	polistiren					
	padat		butir		gabus	
	A	E	A	E	A	E
cairan	$1,1 \cdot 10^1$	7749	$9,1 \cdot 10^{-4}$	-5564	$9,1 \cdot 10^{-4}$	-6358
toluen	$2,0 \cdot 10^{-4}$	-3179	$5,6 \cdot 10^{-9}$	-17486	$4,1 \cdot 10^{-8}$	-14700
etil benzen	$2,3 \cdot 10^{-5}$	-1590	$1,7 \cdot 10^{-10}$	-20267	$7,2 \cdot 10^{-9}$	-15896
stiren	$2,5 \cdot 10^{-2}$	596	$2,3 \cdot 10^{-6}$	-14306	$1,2 \cdot 10^{-4}$	-7550
isopropil-enzen	$2,3 \cdot 10^{-5}$	-7153	$1,3 \cdot 10^{-14}$	-36958	$1,5 \cdot 10^{-8}$	-16290

Persamaan kecepatan reaksi yang diperoleh adalah sebagai berikut:

polistiren padat:

$$k_c = 1,1 \cdot 10^1 \cdot \exp(7749/T) \text{ menit}^{-1} \text{ dengan ralat rata-rata } 14,47\%$$

$$k_t = 2,0 \cdot 10^{-4} \cdot \exp(-3179/T) \text{ menit}^{-1} \text{ dengan ralat rata-rata } 8,42\%$$

$$k_e = 2,3 \cdot 10^{-5} \cdot \exp(-1590/T) \text{ menit}^{-1} \text{ dengan ralat rata-rata } 9,08\%$$

$$k_s = 2,5 \cdot 10^{-2} \cdot \exp(596/T) \text{ menit}^{-1} \text{ dengan ralat rata-rata } 10,52\%$$

$$k_i = 2,3 \cdot 10^{-5} \cdot \exp(-7153/T) \text{ menit}^{-1} \text{ dengan ralat rata-rata } 11,05\%$$

polistiren butir:

$$k_c = 9,1 \cdot 10^{-4} \cdot \exp(-5564/T) \text{ menit}^{-1} \text{ dengan ralat rata-rata } 34,33\%$$

$$k_t = 5,6 \cdot 10^{-9} \cdot \exp(-17486/T) \text{ menit}^{-1} \text{ dengan ralat rata-rata } 10,55\%$$

$$k_e = 1,7 \cdot 10^{-10} \cdot \exp(-20267/T) \text{ menit}^{-1} \text{ dengan ralat rata-rata } 12,99\%$$

$$k_s = 2,3 \cdot 10^{-6} \cdot \exp(-14306/T) \text{ menit}^{-1} \text{ dengan ralat rata-rata } 21,88\%$$

$$k_i = 1,3 \cdot 10^{-14} \cdot \exp(-36958/T) \text{ menit}^{-1} \text{ dengan ralat rata-rata } 26,78\%$$

polistiren gabus:

$$k_c = 9,1 \cdot 10^{-4} \cdot \exp(-6358/T) \text{ menit}^{-1} \text{ dengan ralat rata-rata } 13,47\%$$

$$k_t = 4,1 \cdot 10^{-8} \cdot \exp(-14700/T) \text{ menit}^{-1} \text{ dengan ralat rata-rata } 38,89\%$$

$$k_e = 7,2 \cdot 10^{-9} \cdot \exp(-15896/T) \text{ menit}^{-1} \text{ dengan ralat rata-rata } 7,67\%$$

$$k_s = 1,2 \cdot 10^{-4} \cdot \exp(-7550/T) \text{ menit}^{-1} \text{ dengan ralat rata-rata } 7,07\%$$

$$k_i = 1,5 \cdot 10^{-8} \cdot \exp(-16290/T) \text{ menit}^{-1} \text{ dengan ralat rata-rata } 8,83\%$$

#### 4. KESIMPULAN

Dari pembahasan hasil penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Proses pirolisis polistiren menghasilkan toluen, etil benzen, stiren, dan isopropil benzen dalam fase cair, dan polistiren dengan berat molekul yang lebih rendah dalam fase padat.

2. Pada suhu 380° sampai dengan 580°C, fraksi berat hasil pirolisis terhadap polistiren mula-mula berkisar antara:

cairan : 0,6245 - 0,9582

toluen : 0,0267 - 0,0363

etil benzen : 0,0161 - 0,0221

stiren : 0,5488 - 0,8188

isopropil benzen: 0,0362 - 0,0612

3. Senyawa terbanyak yang diperoleh dari proses pirolisis polistiren ini adalah stiren. Perolehan stiren yang diperoleh pada suhu 380° sampai dengan 580°C berkisar antara:

polistiren padat: 40,94% - 68,76%

polistiren butir: 54,88% - 81,88%

polistiren gabus: 58,15% - 82,75%

4. Dengan model persamaan kecepatan reaksi pirolisis yang sederhana, yaitu persamaan kecepatan reaksi order satu terhadap rasio jumlah mol bahan dan jumlah polistiren mula-mula, diperoleh harga energi aktivasi yang berkisar antara (kal/gmol):

cairan : -7749 dan 6358

toluen : 3179 dan 17486

etil benzen : 1590 dan 20267

stiren : -596 dan 14306

isopropil benzen: 7153 dan 36958

#### 5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya penyusun sampaikan kepada Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, karena penelitian ini dapat dilaksanakan dengan biaya DPP/SPP Fakultas Teknik UGM tahun 1995/1996, melalui BPPF. Tak lupa kepada karyawan Laboratorium Polimer Tinggi, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, UGM, atas bantuan dan kerjasamanya penyusun ucapkan banyak terima kasih.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- Agra, I.B., 1985, "Penyulingan Kering Sampah Plastik", *Karya Penelitian*, 1 (2), hal. 115-127.
- Billmeyer, F.W., 1984, "Textbook of Polymer Science, pp. 142-143, John Wiley and Sons Inc., New York.
- Cowd, M.A. (diterjemahkan oleh Harry Firman), 1991, "Kimia Polimer", ITB, Bandung.
- Kiran, E. and Gillham, J.F., 1979, "Pyrolysis-Molecular Weight Chromatography-Vapour Phase Spectrophotometry: An On-line System for Analysis of Polymers, in *Developments in Polymer Degradation-2*", Grassie, pp. 21-25, Applied Science Publishers, Ltd., England.
- Kirk, R.E. and Othmer, D.F., 1975, "Encyclopedia of Chemical Technology", vol. 21, pp. 770-804, The Interscience Encyclopedia Inc., New York.
- Sullivan, J.F., 1977, Polymer-Analysis Using Gas Chromatography, in "Modern Practice of Gas Chromatography", Grob, R.L.(Ed.), p. 721, John Wiley and Sons, New York.
- Wardani, K., 1995, "Pirolisis Polistiren", Laporan Penelitian, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.